Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 5, Dec- Jan 2019, p. 891-906

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 5، آذر - دی 1397، ص.906-891

ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک و دمای اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی اسنک بر پایه آرد جو و تفاله هویج

سرور لطفی شیرازی[1]- آرش کوچکی[2*]- الناز میلانی[3]- محبت محبی[2]

تاریخ دریافت: 1396/08/20
تاریخ پذیرش: 1397/03/22

چکیده

اسنک‌های غذای بخش عمده‌ایی از رژیم غذایی افراد را تشکیل می‌دهد. در سال‌های اخیر تقاضا برای تبدیل ضایعات سبزیجات و میوه‌ها به‌دلیل داشتن میزان فیبرهای رژیمی به محصولات مفید افزایش یافته است. تفاله هویج دارای مقدار زیادی فیبرهای رژیمی که حاوی خواص عملکردی و تغذیه‌ایی مهمی می‌باشد. جو حاوی مقادیر زیادی فیبر رژیمی به‌ویژه فیبرهای محلول می‌باشدکه اهمیت زیادی در کاهش سطح کلسترول خون دارد. در این پژوهش با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert اثر دمای محفظه (170-120 درجه سانتی‌گراد)، میزان رطوبت (20-14 درصد) و مقدارتفاله هویج (25-10 درصد) بر ویژگی‌های نسبت انبساط شعاعی، دانسیته توده‌ای، سختی، رنگ، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب و همچنین از نظر پذیرش حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش تفاله هویج، نسبت انبساط، میزان روشنایی، شاخص جذب آب و پذیرش کلی کاهش یافت. در حالیکه با افزایش رطوبت، نسبت انبساط، شاخص حلالیت در آب کاهش و میزان روشنایی و شاخص جذب آب افزایش یافت. با افزایش دما میزان سختی بافت و دانسیته افزایش یافت اما روشنایی کاهش و نسبت انبساط، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب تا دمای 145 درجه سانتی‌گراد افزایش و سپس کاهش یافت. در نهایت شرایط بهینه فرایند اکسترون با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert در مقدار تفاله هویج 10 درصد، و دمای محفظه 148 درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت 15/49 درصد تخمین زده شد. و اسنک‌های تولید شده تحت شرایط بهینه میزان فیبرهای رژیمی محلول طی فرآیند اکستروژن از 7/63 به 9/27 نسبت به نمونه اکسترود نشده افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: اکستروژن، بهینه‌سازی، فیبرهای رژیمی، آرد جو، تفاله هویج

مقدمه

اسنک همواره بخش قابل توجهی از میان وعده افراد را در زندگی مدرن تشکیل می‌دهد. بهبود ارزش تغذیه‌ای این دسته از میان وعده‌ها به‌گونه‌ایی که خواص فناوری آن دستخوش تغییرات نامطلوب نشود، الزامی است (خزین و همکاران، 1393). برای این منظور می‌توان موادی از قبیل میوه‌ها و سبزیجات که جنبه‌های سلامتی بخشی دارند استفاده کرد (Potter *et al*, 2013). فناوری اکستروژن فرآیند دما بالا-زمان کوتاه است (Altan *et al*, 2008). که نشاسته در اثر درجه حرارت، رطوبت و سرعت برشی در طی پخت اکستروژن ژلاتینه شده، پس از خروج خمیر از اکستروژن، فشار و دمای محصول با محیط اطراف تعادل برقرار می‌کند و موجب انبساط محصول اکسترود شده می‌شود (Kaisangsri *et al*, 2016). مطالعات نشان داده است که اکستروژن نسبت بین فیبرهای رژیمی محلول و نامحلول را به دلیل واکنش ترانس گلیکوزید تغییر می‌دهد ولی اثر معنی‌دار در کاهش مقدار کل فیبر رژیمی نداشته است (Chang *et al*, 2015). Huang و همکاران (2016) گزارش کردند که میزان SDF نارنگی پس از اکستروژن از 17/31 درصد به 30/29 درصد افزایش یافت. ولی میزان IDF از 46/52 درصد به 33/57 درصد کاهش یافت. فیبر به‌طور معمول باعث پارگی حباب‌های سلول می‌شود، به‌عنوان یک ماده پرکننده در محصولات اکسترود شده عمل می‌کند. فیبر عامل هسته‌زایی سلول می‌باشد که باعث افزایش تعداد سلول‌های کوچک در ساختار می‌گردد و در مقدار پایین، مانع رشد حباب نمی‌شود ولی در مقادیر بالا به دلیل تجمع فیبر، باعث پارگی حباب‌های هوا می‌گردد (Kaisangsri *et al*, 2016). نتایج Chanvrier و همکاران (2007) با استفاده از میکروسکوپ نوری نشان داد که ذرات سبوس در محلی از ماتریکس اتصالات ضعیفی

1 و2- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد واستاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
3- استادیار، پژوهشکده علوم وصنایع غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: Email: koocheki@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v14i5.68582

ایجاد می‌کند که باعث تشکیل هسته می‌شود. احتمالا فیبر موجود در تفاله ناپیوستگی‌هایی در ماتریکس نشاسته ایجاد می‌کند که باعث افزایش تعداد سلول‌های کوچک منبسط نشده و در نتیجه کاهش انبساط می‌گردد. نتایج مشابه توسط Yanniotis و همکاران (2007) که در آن فیبر گندم در محصولات اکسترود شده منجر به کوچک شدن اندازه سلول و افزایش تعداد سلول شد نیز مشاهده شده است. مصرف فیبرهای رژیمی کلسترول خون، خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، سرطان روده بزرگ و چاقی را کاهش می‌دهد (Chau *et al*, 2004). فواید فیبرهای رژیمی، پژوهشگران مواد غذایی را برای یافتن منبع جدید از فیبرها به‌عنوان مواد غذایی تشویق کرده است.

جو (*Hordeum vulgare* L.) قدیمی‌ترین محصول زراعی و چهارمین غله مهم پس از گندم، برنج و ذرت در جهان می‌باشد (Wenwen *et al*, 2017). این غله حاوی مقادیر زیادی فیبر رژیمی به ویژه فیبرهای محلول نظیر بتاگلوکان است که اهمیت زیادی در کاهش سطح کلسترول خون دارد. جو یک غله مهم از نظر وجود ترکیبات تغذیه‌ای و عملکردی از جمله ترکیبات فنولی که به‌عنوان مکمل رژیم غذایی انسان استفاده می‌شود، می باشد (Alu'datt *et al*, 2012). Gupta و همکاران (2008) اثر آرد جو بر اسنک‌های اکسترود شده برپایه آرد برنج مورد بررسی قرار دادند. طرح مرکب مرکزی به‌منظور بررسی اثر متغیرهای فرایند اکستروژن، درجه حرارت (200 -150 درجه سانتی‌گراد)، میزان رطوبتی (40 -20 درصد)، سرعت مارپیچ (110 -90 دور بر دقیقه) و آرد جو (30 -10 درصد) بر ویژگی‌های مانند: نسبت انبساط شوندگی، دانسیته توده، شاخص جذب آب، سختی، بتا گلوکان، ارزش a، b وL، حسی و را مطالعه کردند. نمرات حسی نشان داد که آرد جو 20 درصد، رطوبت 30 درصد، درجه حرارت 175 درجه سانتی‌گراد و سرعت مارپیچ 100 دور بر دقیقه یک محصول قابل قبولی است.

ضایعات میوه و سبزی محتوای فیبر بالایی دارند و درنتیجه ظرفیت اتصال به آب در آنها بالا بوده و قابلیت هضم آنزیمی کمی دارند (Serena *et al*, 2007). هویج (*Daucus carota L.*) یکی از سبزیجات ریشه‌ایی مهم است که معمولاً برای تولید آب هویج مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chau *et al*, 2004). تفاله هویج غنی از ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبرهای رژیمی است، تفاله حاصل از آب هویج استفاده مناسبی ندارد و منبع مشکلات زیست محیطی به حساب می‌آید و کاملاً فاسد شدنی است (Shafiq *et al*, 2014). به دلیل محتوی فیبری بالای تفاله هویج می‌توان از آن برای توسعه محصولات فیبری استفاده کرد (Shafiq *et al*, 2014). در زمینه موضوع پژوهش، تاکنون مطالعاتی شامل نتایج تحقیق Altan و همکاران (2008) بر روی ویژگی‌های مخلوط آرد جو و تفاله گوجه‌فرنگی اکسترود شده نشان داد، تغییرات دما و سطح تفاله بیشترین و سرعت مارپیچ کمترین اثر را بر ویژگی‌های اسنک تولیدی داشت. سطح تفاله گوجه فرنگی 10 و 20 درصد در دمای 160 درجه سانتی‌گراد و سرعت مارپیچ 200 دور بر دقیقه بالاترین امتیاز رنگ، بافت، طعم و پذیرش کلی را به‌خود اختصاص داد. نتایج نشان داد که تفاله گوجه‌فرنگی را می‌توان با آرد جو به‌عنوان اسنک مغذی و قابل قبول اکسترود نمود. Kaisangsri و همکاران (2016) نشاسته ذرت را با تفاله هویج اکسترود کردند و نتایج نشان داد، در سطوح 5 گرم در 100 گرم تفاله هویج و رطوبت 15 گرم در 100 گرم بیش‌ترین تأثیر را بر میزان انبساط داشت و سطوح بالاتر تفاله هویج کاهش قابل توجهی در میزان انبساط این محصول نشان داد.

هدف از این پژوهش ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک و دمای اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی اسنک و یافتن شرایط بهینه مناسب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آرد جو از کارخانه چورک توس خریداری شد. تفاله هویج از مغازه آبمیوه فروشی تهیه گردید و در آون هوای داغ در دمای 40 درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز تا زمانی که به وزن ثابت برسد، خشک شد. تفاله‌های خشک آسیاب و از طریق الکی با شماره مش 40 (425 میکرون) یکنواخت شد. پودر تفاله هویج در پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی در دمای اتاق تا زمان استفاده نگه‌داری و سپس ترکیب شیمیایی آرد جو و تفاله هویج با استفاده از روش‌های استاندارد AOAC (2000) اندازه‌گیری شد. تعیین چربی به روش سوکسله، اندازه‌گیری پروتئین با روش کجلدال (ضریب تبدیل ازت به پروتئین 5/7) و تعیین خاکستر نمونه با کوره 550 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فیبر خام مطابق با روش‌های استاندارد AOAC (2000) به شماره 1981 -5498 تعیین شد. برای تعیین رطوبت از آون 105 درجه سانتی‌گراد استفاده شد. برای محاسبه میزان کربوهیدرات از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از 100 انجام شد.

تهیه فرمولاسیون مخلوط آرد جو- تفاله هویج برای اکستروژن

پودر تفاله هویج در مقادیر10، 17/5 و 25 درصد با آرد جو مخلوط گردید. جهت تعیین میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت مطلوب (14، 17 و 20 درصد) از مربع پیرسون استفاده گردید. پس از 15 دقیقه مخلوط کردن، در پلاستیک پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شد. برای به تعادل رسیدن رطوبت به مدت 24 ساعت در یخچال نگهداری شدند و یک ساعت قبل از فرآیند اکستروژن از یخچال خارج شدند (Kaisangsri *et al*, 2016).

شرایط فرآیند اکستروژن

به‌منظور فرمولاسیون و تهیه نمونه‌های اسنک از دستگاه

اکسترودر جفت مارپیچی (Jians Saxin ،DS 56، چین) موجود در پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد استفاده شد. متغیرها شامل تفاله هویج (10، 17/5 و 25 درصد)، دمای محفظه میانی (120، 145و 170درجه سانتی‌گراد) و میزان رطوبت (14، 17و 20 درصد) بود. میزان خوراک و سرعت مارپیچ ثابت به‌ترتیب برابر 1/5 کیلوگرم و 150 دور بر دقیقه تعیین گردید و قطر منفذ خروجی 4میلی‌متر در نظر گرفته شد. اسنک‌های خروجی از اکسترود به‌منظور خشک کردن بر روی نوار نقاله خشک‌کن تونلی با دمای 40 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده و در دمای اتاق نگهداری گردید.

نسبت انبساط شعاعی

از هر تیمار 10 نمونه به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از کولیس دیجیتال، از سه قسمت مختلف قطر نمونه اندازه‌گیری شد. سپس از طریق تقسیم میانگین قطر نمونه بر قطر قالب اکسترود، میزان انبساط شعاعی برحسب درصد محاسبه گردید (Harper, 1981).

دانسیته توده‌ای[1]

از هرنمونه 10 اسنک انتخاب شد سپس میانگین قطر و طول هر اسنک اندازه گرفته شد و سپس از طریق رابطه زیر دانسیته توده محاسبه شد

$$\text{دانسیته توده} = 4m/\pi d^2 l \qquad (1)$$

m = میانگین جرم اسنک، d= میانگین قطر اسنک، l= میانگین طول اسنک

سختی

جهت اندازه‌گیری سختی محصول از دستگاه آنالیزگر بافت استفاده شد. از هر تیمار 5 اسنک به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب شد. پروب استیل استوانه ای به قطر 2 میلی‌متر و با سرعت ثابت 1 میلی‌متر در ثانیه و عمق نفوذ پروب 8 میلی‌متر در نظر گرفته شد. به محض رسیدن پروب به عمق مورد نظر، پروب از نمونه خارج و نمودار نیرو- زمان برای نفوذ پروب در نمونه رسم گردید. در نهایت بیشینه نیرو وارد شده بر حسب نیوتون توسط دستگاه به‌عنوان سختی اعلام شد (Hashemi *et al*, 2017).

رنگ

رنگ اسنک‌های تولید شده با استفاده از دستگاه هانترلب اندازه‌گیری شد. ابتدا نمونه‌ها به‌صورت پودر درآمد و در ظرف مخصوص ریخته شد به اندازه‌ایی که کف ظرف کاملاً پوشیده شود. در نهایت مقادیرL^* (میزان روشنایی)،a^* (میزان قرمزی) و b^* (میزان زردی) تعیین گردید (Stojceska *et al*, 2008).

شاخص جذب آب (WAI[2])

اسنک ابتدا آسیاب شده و برای یکنواخت کردن اندازه ذرات از الک با شماره مش 40 عبور داده شد. سپس 2/5 گرم از نمونه آسیاب شده در فالکون از پیش توزین شده اضافه گردید، سپس 25 میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و در دمای اتاق به مدت 30 دقیقه با دستگاه شیکر مدل ZX3 با سرعت 2000 دور بر دقیقه همزده شد و مخلوط حاصل در 3000g به مدت 15دقیقه سانتریفوژ گردید. در نهایت مایع رویی را از فالکون خارج کرده و ژل باقی مانده توزین شد. شاخص جذب آب از رابطه زیرمحاسبه شد (Shafiq *et al*, 2016).

$$\text{شاخص جذب آب} = \frac{\text{وزن ژل باقی مانده}}{\text{وزن نمونه خشک}} \qquad (2)$$

شاخص حلالیت در آب (WSI[3])

ابتدا مایع رویی فالکون در مرحله اندازه‌گیری شاخص جذب آب، به پلیتی که از قبل توزین شده بود انتقال یافت. سپس در آون هوای داغ با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در نهایت پلیت به‌همراه رسوبات موجود توزین شد و میزان حلالیت در آب با استفاده از رابطه زیر، محاسبه گردید (Shafiq *et al*, 2016).

(2) وزن نمونه/ وزن ماده خشک محلول در مایع رویی فالکون= شاخص حلالیت در آب

آزمون حسی

10 دانشجو برای ارزیابی اسنک‌ها انتخاب شد، از هر نمونه 3 اسنک انتخاب و برای ارزیابی در اختیار ارزیابان قرار گرفت. با استفاده از آزمون هدونیک 5 نقطه‌ایی میزان پذیرش اسنک (1= خیلی بد، 5= خیلی خوب) (ISO 11136 :2014) ارزیابی شد (Rathod, 2016).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این پژوهش از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر جهت بررسی اثر متغیرهای مستقل (تفاله هویج، x_1؛ دما، x_2؛ رطوبت، x_3) برویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7,0,0 انجام شد. در طرح آزمایش، شش نقطه مرکزی برای محاسبه تکرارپذیری روش و تعیین خطای آزمایش انتخاب شد. برای توصیف مدل ها از معادله

---
[1] Bulk density

[2] Water Absorbtion Index

[3] Water Solution Index

زیر استفاده شد، Y(توابع پاسخ) و Xi، i=3و۱،۲ (متغیرهای مستقل) می باشد.

$$Y = b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2+b_{33}x_3^2+b_{12}x_1x_2+b_{13}x_1x_3+b_{23}x_2x_3 \quad (3)$$

ضرایب مدل با b (ضریب ثابت)، b_1، b_2 و b_3 (اثر خطی)، b_{11}، b_{22} و b_{33} (اثر درجه دوم)، b_{12}، b_{13} وb_{23} (اثر متقابل) نشان داده شده است. اثرات معنی‌دار در مدل با تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ مشخص شد. R^2 و Adj-R^2 برای مناسب بودن مدل پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انتخاب شد. برای متغیر های مستقل محدوده درحالی که برای پاسخ‌ها حداکثر یا حداقل در نظر گرفته شد.

ویژگی‌های شیمیایی اسنک اکسترود شده

مقدار پروتئین، چربی و خاکستر نمونه بهینه‌ای که با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert تعیین شد درشرایط اکسترود شده و نشده مطابق با روش‌های استاندارد AOAC (2000) اندازه‌گیری شد. مقدار فیبرهای رژیمی کل، محلول و نامحلول مطابق با روش Huang و همکاران (2016) و بسته آنزیمی شرکت Megazyme اندازه‌گیری شد. ابتدا یک گرم (w_1) از محصول آسیاب شده را با 50 میلی‌لیتر فسفات بافر با pH=6 مخلوط گردید. سپس به‌ترتیب با آنزیم آلفاآمیلاز، پروتئاز و آمیلوگلوکوزیداز گرمخانه‌گذاری شد. سپس محتویات ظرف با استفاده از کروزه فیلتر شد و فیبر باقی مانده بر روی کروزه با آب دیونیزه، اتانول و استون شستشو داده شد. کروزه را در آون 105 درجه سانتی‌گراد خشک و وزن آن برای تعیین مقدار فیبر رژیمی نامحلول یادداشت گردید (w_2). برای تصحیح مقدار فیبر نامحلول تمام مراحل در سه ظرف جداگانه برای اندازه‌گیری پروتئین در محتویات نمونه باقی مانده از طریق روش کلدال اندازه‌گیری شد (w_3) و خاکستر از طریق کوره 550 درجه سانتی‌گراد به مدت 4 ساعت قرار گرفت و سپس توزین شد (w_4) و نمونه شاهد (w_5) صورت گرفت.

$$\text{مقدار فیبر نامحلول} = \frac{w_2-w_3-w_4-w_5}{w_1} \times 100 \quad (4)$$

فیبر محلول: فاز مایع عبوری با 4 برابر حجم آن از اتانول مخلوط گردید و پس از فیلتراسیون فیبر روی کروزه را سه مرتبه با 20 میلی‌لیتر اتانول 78 درصد و دو مرتبه با 10 میلی‌لیتر اتانول 95 درصد و دو مرتبه با 10 میلی‌لیتر استون شستشو داده شد و سپس در آون 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 5 ساعت قرار داده شد و وزن آن یادداشت گردید. تصحیح مقدار پروتئین و خاکستر برای فیبر محلول نیز انجام شد. از مجموع فیبر نامحلول و محلول مقدار فیبر رژیمی کل به‌دست آمد.

نتایج و بحث

تعیین ترکیب شیمیایی

جدول 1-ترکیب شیمیایی آرد جو و پودر تفاله هویج برمبنای ماده خشک (میانگین± انحراف معیار)

ترکیب (٪) شیمیایی(٪)	آرد جو	تفاله هویج
پروتئین	9/35±0/19	5/57±0/50
خاکستر	1/79±0/36	5/63±0/51
چربی	2/31±0/18	1/23±0/25
فیبرخام	2/96±0/70	7/04±0/42
رطوبت	7±0/40	7±0/24
کربوهیدرات	76/57±0/13	73/51±0/23

ترکیب شیمیایی آرد جو و تفاله هویج در جدول 1 مشخص گردیده است.

تجزیه مدل برازش یافته برای متغیرهای پاسخ اسنک برپایه آردجو و تفاله هویج

ضریب رگرسیون به‌همراه R^2، Adj-R^2 و CV در جدول 2 برای بررسی کفایت مدل محاسبه شد. ضعف برازش برای تمام پاسخ‌ها بی‌معنی بودکه دقیق بودن مدل‌های پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در نتایج این پژوهش R^2 و Adj-R^2 برای تمام پاسخ‌ها بالاتر از 0/80 بودکه بیانگر توان بالای مدل در برازش داده‌ها می‌باشد. CV هر پاسخ کمتر از 10 درصد بود که نشانگر دقت و صحت آزمایش انجام داده شده می‌باشد.

نسبت انبساط شعاعی

با افزایش میزان تفاله هویج در فرمول، نسبت انبساط کاهش یافت (شکل 1، الف). یکی از عوامل‌ی که بر میزان نسبت انبساط مؤثر است، درجه ژلاتینه شدن نشاسته می¬باشد (Gomez *et al*, 1984). فیبر امکان دسترسی آب برای ژلاتینه شدن نشاسته را محدودکرده، ویسکوزیته ماده مذاب را افزایش داده و در نهایت باعث کاهش میزان انبساط فراورده نهایی می‌شود (Yanniotis *et al*, 2007). نتایج مشابهی توسط Altan و همکاران (2008) و Selani و همکاران (2014) به‌ترتیب برای محصولات تهیه شده از تفاله گوجه‌فرنگی و آناناس گزارش شده است. نسبت انبساط با افزایش دما از 120 به 145 درجه سانتی¬گراد، افزایش یافت (شکل 1، الف). افزایش دما از طریق گرم کردن بیش ازحد آب باعث رشد حباب‌ها شده و نسبت انبساط را افزایش می¬دهد (Ding *et al*, 2005; Fletcher, 1985). با این وجود افزایش دما به بیش از 145 درجه سانتی¬گراد، به علت تخریب بیش ازحد نشاسته باعث کاهش میزان انبساط شد (Mendonça *et al*, 2000). میزان رطوبت از فاکتورهای اصلی مؤثر بر انبساط و دانسیته توده می¬باشد (Ilo *et al*, 1999). با افزایش رطوبت میزان

نسبت انبساط کاهش یافـت (شـکل1، ب). افـزایش رطوبـت سـبب کاهش دمای محفظه می¬شود. دمای پایین فرایند، منجر به کاهش میزان ژلاتینه شدن که در نهایـت باعـث کـاهش میـزان انبسـاط و افزایش دانسیته توده فراورده اکسترود شده می¬گردد (Ding *et al*, 2006).

جدول۲- آنالیز واریانس (ANOVA) و ضریب رگرسیونی متغیرها در مدل پیش بینی برای نتایج ویژگی‌های فیزیکی

منبع	نسبت انبساط شعاعی (٪)				دانسیته توده (گرم/ سانتی متر مکعب)				سختی (نیوتون)			
	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value
A	۱	-۰/۲۴	۰/۵۹	**۰/۰۰۱	۱	۰/۵۶	۳/۱۴	**۰/۰۰۱	۱	۵/۸۱	۳۳۸/۱۲	**۰/۰۰۱
B	۱	-۰/۰۳۶	۰/۰۱۳	ns۰/۰۵۹۷	۱	-۰/۳۱	۰/۹۸	*۰/۰۱۱	۱	-۴/۰۸	۱۶۶/۷۹	**۰/۰۰۱
C	۱	-۰/۱۸	۰/۳۴	**۰/۰۰۱	۱	۰/۳۷	۱/۳۵	*۰/۰۰۳	۱	۶/۰۵	۳۶۶/۰۵	**۰/۰۰۱
AB	۱	-۰/۰۲۸	۰/۴۹۲×۱۰$^{-۳}$	ns۰/۱۶۱۷					۱	۰/۷۳	۴/۳۰	ns۰/۱۸۱۶
AC	۱	۸/۰۱۳×۱۰$^{-۳}$	۵/۱۳۶×۱۰$^{-۴}$	ns۰/۶۸۴۰					۱	۱/۵۵	۱۹/۳۰	*۰/۰۱۰۵
BC	۱	-۷/۲۳۷×۱۰$^{-۳}$	۴/۱۹۱×۱۰$^{-۴}$	ns۰/۷۱۳۰					۱	-۴/۵۰	۱۶۲/۳۰	**۰/۰۰۱
A^2	۱	۰/۱۹	۰/۱	*۰/۰۰۰۲								
B^2	۱	-۰/۱۹	۰/۱	**۰/۰۰۰۱								
C^2	۱	۰/۱۳	۰/۰۴۵	*۰/۰۰۲۸								
model	۹	۲/۴۰	۱/۱۸	**۰/۰۰۱	۳	۲/۵۱	۵/۴۷	**۰/۰۰۱	۶	۱۴/۷۹	۱۰۵۶/۸۶	**۰/۰۰۱
Residual	۱۰		۰/۰۲۹		۱۶		۰/۹۹		۱۳		۲۸/۰۸	
Lack of fit	۵		۷/۷۷۳×۱۰$^{-۳}$	ns۰/۸۵۵۵	۱۱		۰/۱۴	ns۰/۹۹۹۷	۸		۲۲/۵۶	ns۰/۱۵۸۰
Pure error	۵		۰/۰۲۱		۵		۰/۸۵		۵		۵/۵۲	
Cor total	۱۹		۱/۲۱		۱۹		۶/۴۷		۱۹		۱۰۸۴/۹۳	
R^2		۰/۹۷۵۹				۰/۸۴۶۲				۰/۹۷۴۱		
Adj -R^2		۰/۹۵۴۱				۰/۸۱۷۴				۰/۹۶۲۲		
CV		۲/۱۹				۹/۹۳				۹/۳۹		

A (تفاله هویج)، B (دما)، C (رطوبت) – * $P<۰/۰۵$، ** $P<۰/۰۰۱$، ns بی‌معنی.

جدول۲- آنالیز واریانس (*ANOVA*) و ضریب رگرسیونی متغیرها در مدل پیش بینی برای نتایج ویژگی‌های فیزیکی

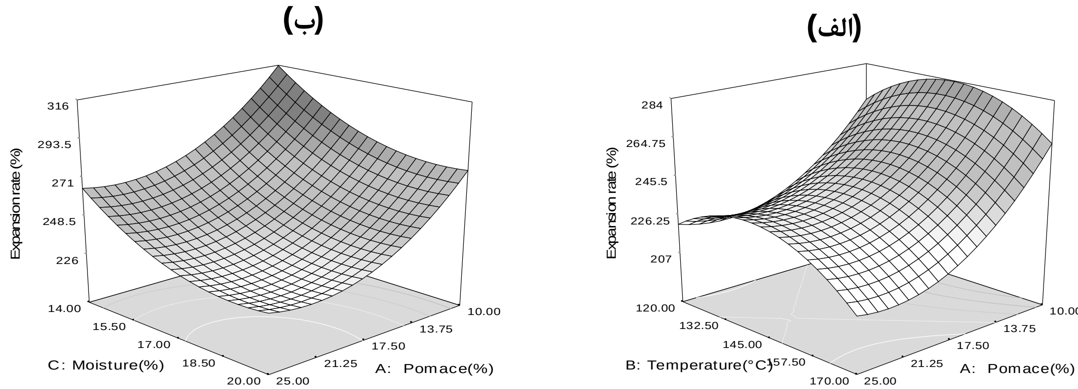
منبع	L*				a*				b*			
	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value
A	۱	-۴/۰۹	۱۶۷/۱۵	**۰/۰۰۰۱	۱	۱/۳۰	۱۶/۸۲	**۰/۰۰۰۱	۱	۰/۰۷۹	۰/۰۶۳	ns۰/۶۵۵۸
B	۱	-۰/۹۱	۸/۳۰	*۰/۰۰۰۳	۱	۰/۱۵	۰/۲۴	ns۰/۱۴۱۱	۱	-۰/۰۸۲	۰/۰۶۶	ns۰/۶۴۶۱
C	۱	۰/۵۳	۲/۷۶	*۰/۰۱۴۲	۱	-۰/۰۲۹	$۸/۴۱\times۱۰^{-۳}$	ns۰/۷۷۲۷	۱	۱/۷۲	۲۹/۵۳	**۰/۰۰۰۱
AB	۱	۰/۰۶۸	۰/۰۳۷	ns۰/۷۴۸۱	۱	-۰/۱۴	۰/۱۷	ns۰/۲۱۴۰				
AC	۱	-۰/۴۱	۱/۳۷	ns۰/۰۶۸۱	۱	۰/۲۱	۰/۳۴	ns۰/۰۸۲۴				
BC	۱	-۰/۲۱	۰/۱۱	ns۰/۵۸۷۱	۱	۰/۲۵	۰/۵۲	*۰/۰۳۷۷				
$A^۲$												
$B^۲$												
$C^۲$												
model	۶	۶۲/۲۲	۱۷۹/۷۲	**۰/۰۰۰۱	۶	۹/۵۶	۱۸/۱۰	**۰/۰۰۰۱	۳	۳۴/۵۲	۲۹/۶۶	**۰/۰۰۰۱
Residual	۱۳		۴/۴۸		۱۳		۱/۲۶		۱۶		۴/۸۵	
Lack of fit	۸		۳/۸۳	ns۰/۰۸۴۸	۸		۱/۱۱	ns۰/۰۵۳۷	۱۱		۱/۲۷	ns۰/۹۹۴۳
Pure error	۵		۰/۶۵		۵		۰/۱۵		۵		۳/۵۸	
Cor total	۱۹		۱۸۲/۲۱		۱۹		۱۹/۳۵		۱۹		۳۴/۵۱	
$R^۲$		۰/۹۷۵۷				۰/۹۳۵۱				۰/۸۵۹۴		
Adj $-R^۲$		۰/۹۶۴۴				۰/۹۰۵۱				۰/۸۳۳۱		
CV		۰/۹۵				۳/۲۵				۱/۶۰		

A (تفاله هویج)، B (دما)، C (رطوبت) – * P<۰/۰۵، ** P<۰/۰۰۰۱، ns بی‌معنی.

جدول۲- آنالیز واریانس (ANOVA) و ضریب رگرسیونی متغیرها در مدل پیش بینی برای نتایج ویژگی‌های فیزیکی و حسی

منبع	WAI(گرم/گرم)				WSI(٪)				پذیرش کلی			
	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	P-Value
A	۱	−۰/۱۸	۰/۳۴	**۰/۰۰۰۱	۱	۱/۶۱	۲۶/۰۳	*۰/۰۱	۱	−۰/۳۸	۱/۴۷	*۰/۰۱۸۸
B	۱	$−۷/۶\times۱۰^{-۳}$	$۵/۷۷۶\times۱۰^{-۴}$	ns۰/۶۲۰۷	۱	۲/۸۰	۷۸/۳۹	*۰/۰۰۰۳	۱	۰/۱	۰/۱	ns۰/۴۸۲۷
C	۱	۰/۱۷	۰/۲۹	**۰/۰۰۰۱	۱	−۳/۹۷	۱۵۱/۷۹	**۰/۰۰۰۱	۱	−۰/۶۳	۳/۹۷	*۰/۰۰۱
AB	۱	$−۷\times۱۰^{-۳}$	$۳/۹۲\times۱۰^{-۴}$	ns۰/۶۸۲۹	۱	−۰/۷۸	۴/۸۳	ns۰/۲۰۲۱	۱	۰	۰	ns۱
AC	۱	۰/۰۱۴	$۱/۴۵۸\times۱۰^{-۳}$	ns۰/۴۳۶۱	۱	۱/۷۵	۲۴/۴۴	*۰/۰۱۱۸	۱	۰/۰۱۳	$۱/۲۵\times۱۰^{-۳}$	ns۰/۹۳۶۶
BC	۱	−۰/۰۱۴	$۱/۶۲۴\times۱۰^{-۳}$	ns۰/۴۱۱۹	۱	−۰/۷۸	۴/۸۳	ns۰/۲۰۲۱	۱	۰/۱	۰/۰۸	ns۰/۵۲۹۱
$A^۲$	۱	۰/۰۱۴	$۵/۱۱۴\times۱۰^{-۴}$	ns۰/۶۴۱۳	۱	۱/۷۵	۸/۴۰	ns۰/۱۰۲۰	۱	−۰/۱۶	۰/۰۶۸	ns۰/۵۶۰۵
$B^۲$	۱	−۰/۱۹	۰/۰۹۷	**۰/۰۰۰۱	۱	−۴/۷۱	۶۱/۰۳	*۰/۰۰۰۷	۱	−۰/۷۱	۱/۳۸	*۰/۰۲۲۱
$C^۲$	۱	۰/۰۱۷	$۸/۰۷۶\times۱۰^{-۴}$	ns۰/۵۵۹۵	۱	۰/۱۱	۰/۰۳۳	ns۰/۹۱۲۳	۱	۰/۳۴	۰/۳۲	ns۰/۲۱۹۷
model	۹	۴/۸۱	۰/۷۸	**۰/۰۰۰۱	۹	۲۵/۱۹	۳۷۱/۲۵	**۰/۰۰۰۱	۹	۴/۲۹	۷/۷۳	*۰/۰۱۳۲
Residual	۱۰		۰/۰۲۲		۱۰		۲۵/۹۲		۱۰		۱/۸۸	
Lack of fit	۵		$۵/۰۷\times۱۰^{-۳}$	ns۰/۸۹۵۷	۵		۱۴/۹۲	ns۰/۳۷۳۰	۵		۰/۸۹	ns۰/۵۴۵۴
Pure error	۵		۰/۰۱۷		۵		۱۱		۵		۰/۹۹	
Cor total	۱۹		۰/۸		۱۹		۳۹۷/۱۸		۱۹		۹/۶۱	
$R^۲$		۰/۹۷۲۳				۰/۹۳۴۷				۰/۸۰۴۲		
$Adj-R^۲$		۰/۹۴۷۳				۰/۸۷۶۰				۰/۶۲۸۰		
CV		۰/۹۹				۶/۷۸				۱۰/۷۷		

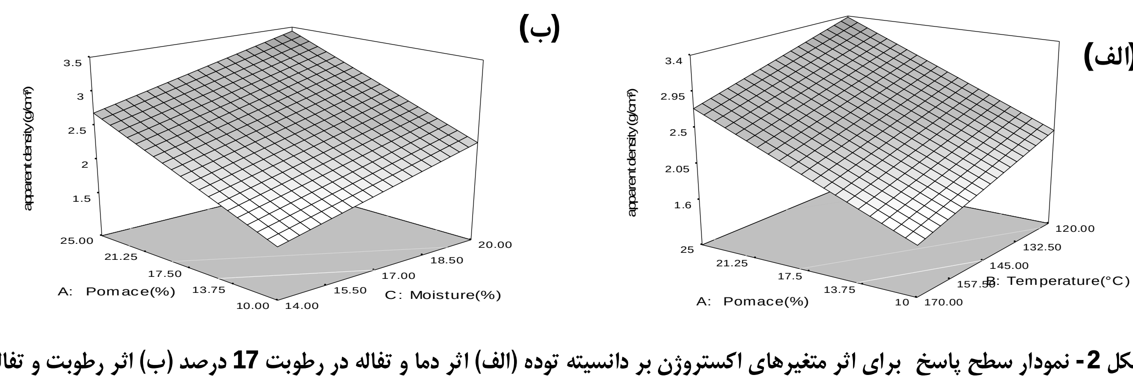
A (تفاله هویج)، B (دما)، C (رطوبت) – * $P<۰/۰۵$، ** $P<۰/۰۰۰۱$، ns بی‌معنی.



شکل1- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر نسبت انبساط (الف) اثر تفاله و دما در رطوبت 17 درصد (ب) اثر رطوبت و تفاله در دمای 145 درجه سانتی گراد.

دانسیته توده

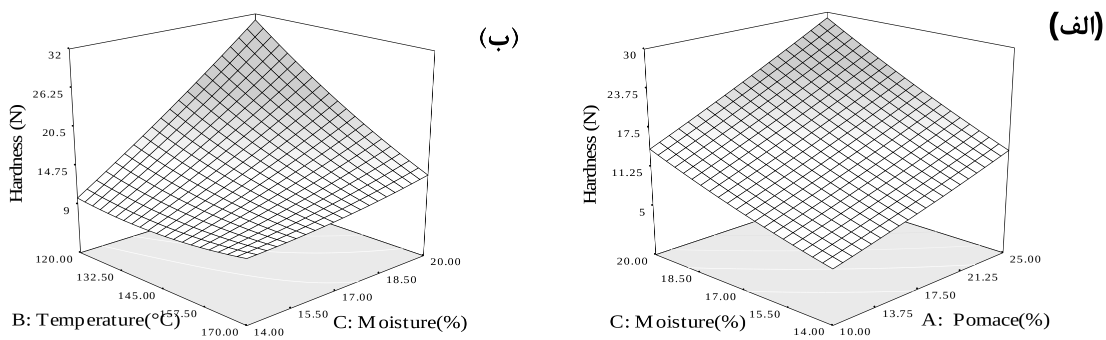
دانسیته توده میزان پف کردن محصول اکسترود شده در تمام جهات را نشان می‌دهد (Caltinoglu *et al*, 2013). با افزایش دمای اکسترودر، دانسیته توده اسنک کاهش یافت (شکل2، الف). افزایش دمای اکستروژن تا 145 درجه سانتی‌گراد باعث گرم شدن بیش ازحد آب، سیال داخل اکسترودر می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش حجم حباب‌ها می‌گردد و با کاهش ویسکوزیته مذاب، دانسیته محصول را کاهش می‌دهد (Fletcher, 1985). نتایج تحقیق Stojceska و همکاران (2008) نشان داد که با افزایش دما ویسکوزیته ماده مذاب کاهش یافته و انبساط طولی افزایش می‌یابد درحالی که کاهش الاستیسیته باعث کاهش انبساط شعاعی می‌شود. بنابراین کاهش یافتن دانسیته توده اسنک در دمای بالای 145 درجه سانتی‌گراد احتمالاً به دلیل افزایش انبساط طولی فراورده می‌باشد. با افزایش رطوبت خوراک، دانسیته توده افزایش یافت (شکل2، ب). رطوبت باعث کاهش الاستیسیته شده و ژلاتینه شدن نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Korkerd *et al*, 2016; Thymi *et al*, 2005). افزایش رطوبت سبب کاهش دمای محفظه می‌شود. دمای پایین فرایند منجر به کاهش میزان ژلاتینه شدن می‌شودکه در نهایت باعث کاهش میزان انبساط و افزایش دانسیته توده فراورده اکسترود شده می‌گردد (Ding *et al*, 2006). با افزایش میزان تفاله هویج، دانسیته توده افزایش یافت که این امر به دلیل افزایش میزان فیبر در خوراک می‌باشد (شکل2، الف). فیبر باعث پاره شدن سلول‌های هوا می‌گردد (Liu *et al*, 2000) و توانایی انبساط محصول را محدود می‌کنند. بنابراین، دانسیته توده افزایش می‌یابد. اثرات مشابه فیبر برای آرد ذرت و تفاله آناناس اکسترود شده (Selani *et al*, 2014)، مخلوط آرد جو و تفاله انگور (Altan *et al*, 2008)، آرد جو و تفاله گوجه‌فرنگی (Altan *et al*, 2008) و همچنین ذرت و فیبر چغندرقند (Lue *et al*, 1994) مشاهده شده است.



شکل 2- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر دانسیته توده (الف) اثر دما و تفاله در رطوبت 17 درصد (ب) اثر رطوبت و تفاله در دمای 145 درجه سانتی گراد.

سختی

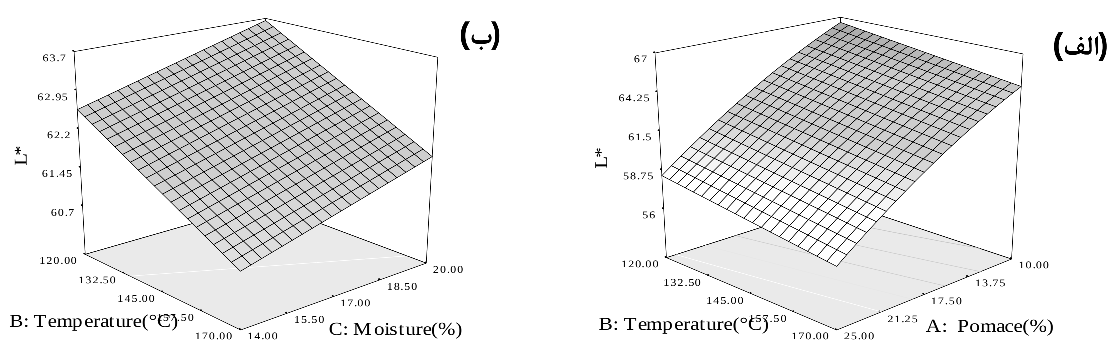
سختی، بیشترین نیروی مورد نیاز پروب برای نفـوذ بـه داخـل نمونه می‌باشد. هرچه میزان بیشینه نیرو بیشتر باشد، میزان سـختی نیز بیشتر است (Ding *et al*, 2005). افزایش رطوبت باعث افزایش سختی شد (شکل3، الـف). رطوبـت از عوامـل اصـلی تأثیرگـذار بـر دانسیته توده و انبساط می‌باشد. محصولی بـا دانسـیته بـالا دیـواره سلولی ضخیم دارد که به‌طور مستقیم با سختی محصـول اکسـترود شده مرتبط می‌باشـد (Yuliani *et al*, 2006). بنـابراین بـه دلیـل افزایش دانسیته توده و کاهش انبساط، سختی فراورده نهایی افزایش یافت. سختی محصول با افزایش دما کاهش یافت (شکل 3، ب) که با نتایج Altan و همکاران (2008) بـرای مخلـوط آرد جـو و تفالـه گوجه‌فرنگی مطابقت داشت. دمای بالا باعـث کـاهش ویسـکوزیته مذاب می‌شود که منجر به رشد بیشتر حباب‌ها و کـاهش ضـخامت دیواره حباب‌ها می‌گردد، هرچند که تعدادی از حباب‌ها در دمای بالا متلاشی می‌شوند. این امر باعـث کـاهش دانسـیته تـوده و سـختی محصول می‌گردد. با افزایش مقدار تفاله هویج میزان سختی افزایش یافت (شکل3، الف). فیبرها باعث پارگی زودرس در حباب‌های هـوا می‌شوند. این امر به دلیل تأثیر فیبر بر ضخامت دیواره سلول می‌باشد (Stojceska *et al*, 2008). بنابراین تفاله هویج منجر بـه افـزایش سختی فراورده نهایی می‌گردد. نتایج مشابهی توسط Mendonça و همکـاران (2000)، Yanniotisو همکـاران (2007) بـرای سـبوس ذرت، پکتین- سبوس گندم گزارش شده است.



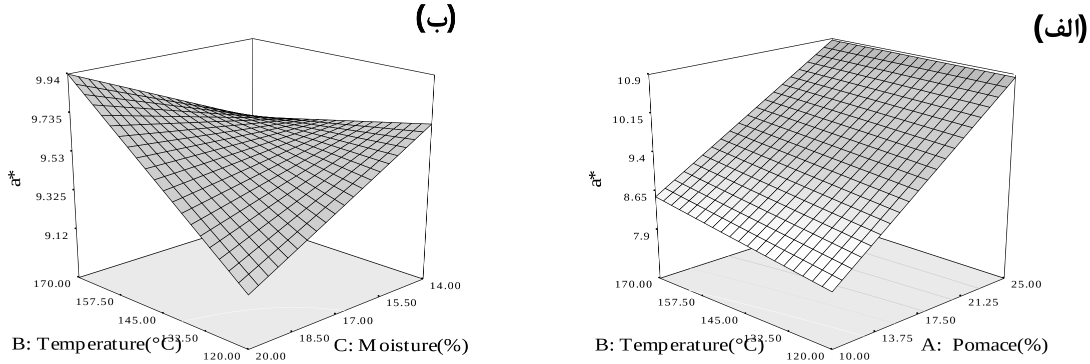
شکل3- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر سختی (الف) اثر متقابل تفاله رطوبت در دمای 145 درجه سانتی گراد (ب) اثر متقابل رطوبت- دما در سطح تفاله 17/5 درصد.

رنگ

افزایش تفاله هویج و دما باعث کاهش میزان روشنایی (شـاخص L*) و افزایش قرمزی فراورده (شاخص a*) شد (شـکل 4، الـف و 5، الف). این امر به دلیـل واکـنش¬هـای قهـوه¬ای شـدن (مـیلارد و کاراملیزاسیون) که در دمای بالا و در حضـور قنـدها رخ مـی¬دهـد، می‌باشد (Selani *et al*, 2014).

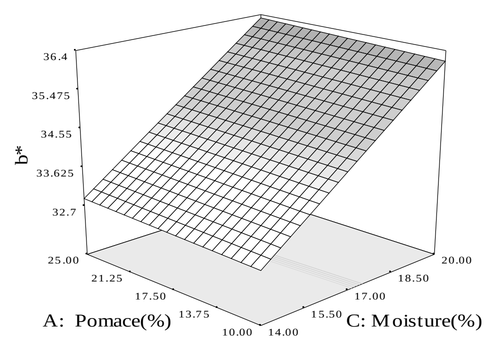


شکل4- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر L* (الف) اثر تفاله و دما در رطوبت 17 درصد (ب) اثر رطوبت و دما در سطح تفاله 17/5 درصد.



شکل5- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر a* (الف) اثر تفاله و دما در رطوبت 17 درصد (ب) اثر متقابل رطوبت- دما در سطح تفاله 17/5 درصد.

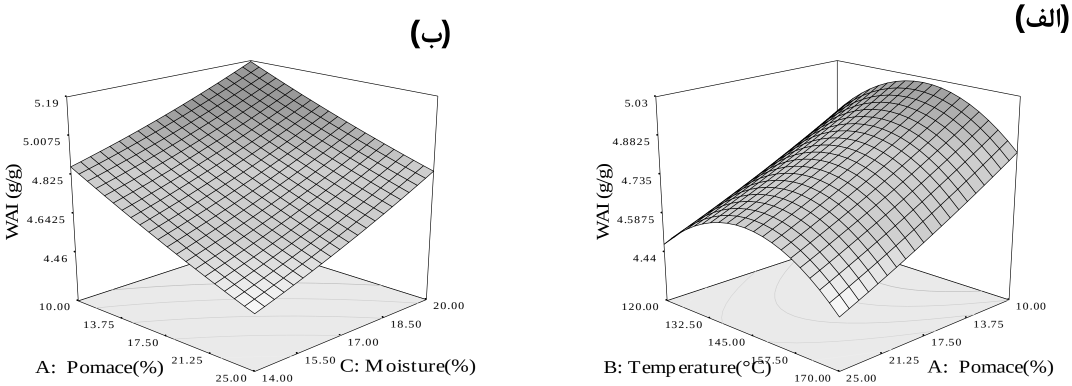
کاهش روشنایی با افزایش تفاله هویج به دلیل وجود قند در تفاله می‌باشد که باعث ایجاد واکنش‌های قهوه ایی شدن می‌گردد. نتایج مشابه در مورد فراورده اکسترود شده تفاله آناناس (Selani *et al*, 2014) و انگور (Altan *et al*, 2008) نیز مشاهده شد. با افزایش رطوبت، میزان روشنایی (L*)، زردی (b*) افزایش و قرمزی فراورده (a*) کاهش یافت (شکل 4، ب، 6، الف و 5، ب) که به دلیل کاهش واکنش قهوه‌ای شدن می‌باشد. Yağci و همکاران (2009) گزارش کردند که افزایش میزان رطوبت شاخص قرمزی را کاهش می‌دهد و همچنین Liu و همکاران (2000) افزایش شاخص زردی را با افزایش میزان رطوبت بیان کردند.



شکل6- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر b* ، اثر رطوبت در دمای 145 درجه سانتی گراد.

شاخص جذب آب (WAI)

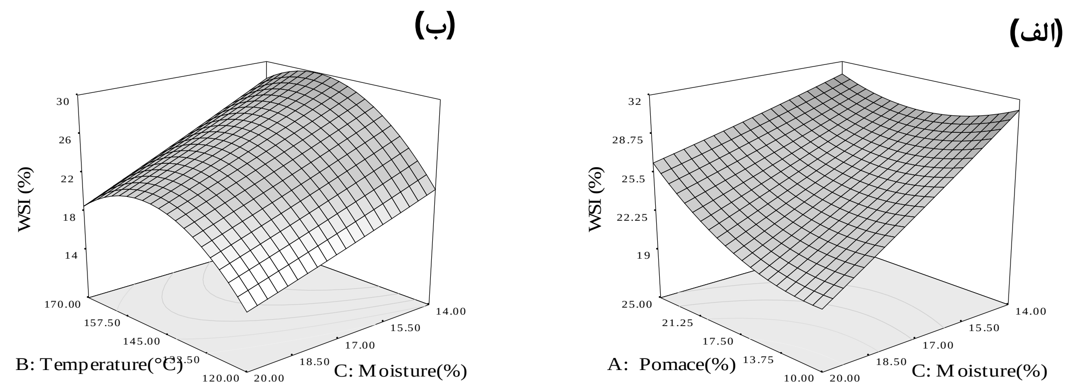
WAI، حجم اشغال شده گرانول‌ها یا نشاسته‌های متورم شده را اندازه‌گیری می‌کند (Sriburi *et al*, 2000; Altan *et al*, 2008). به بیان دیگر شاخص ژلاتینه شدن نشاسته می‌باشد (Anderson *et al*, 1970; Selani *et al*, 2014). همانطور که در شکل 7، الف مشاهده می‌شود تا دمای 145 درجه سانتی‌گراد ابتدا WAI افزایش و سپس کاهش یافت که نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های Owusu-Ansah و همکاران (1983) برای نشاسته ذرت مشابه بود. این محققان بیان داشتند که علت کاهش یافتن WAI در دماهای بالا، دکسترینه شدن نشاسته می‌باشد. با افزایش رطوبت میزان WAI افزایش یافت (شکل7، ب). در رطوبت‌های پایین پلیمر در طی اکستروژن بیشترین آسیب را دیده که در نهایت منجر به کاهش WAI می‌گردد (Selani *et al*, 2014). با افزایش مقدار تفاله هویج WAI کاهش یافت (شکل7، الف). این امر به دلیل کاهش محتوی نشاسته در اثر اضافه کردن تفاله و رقابت در جذب آب بین نشاسته و تفاله می‌باشد (Altan *et al*, 2008).



شکل7- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر WAI (الف) اثر تفاله و دما در رطوبت 17 درصد (ب) اثر رطوبت و تفاله در دمای 145 درجه سانتی گراد.

شاخص حلالیت در آب (WSI)

WSI میزان تبدیل اجزای نشاسته به پلی‌ساکاریدهای محلول آزاد شده طی اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند (Kirby *et al*, 1989; Ding *et al*, 2005). مولکول‌های محلول در آب علاوه بر نشاسته ممکن است از دیگر اجزا از جمله فیبرها و پروتئین طی دناتوراسیون تولید شود (Selani *et al*, 2014). براساس پژوهش Brennan و همکاران (2013)، طی فرآیند اکستروژن حلالیت فیبرهای رژیمی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده پتانسیل اکستروژن در تغییر ساختار مولکول‌ها می‌باشد. افزایش سطح تفاله هویج منجر به افزایش WSI فراورده اکسترود شده گردید (شکل 8، الف) که ممکن است به دلیل اصلاح فیبر تفاله، در طی اکستروژن باشد (Hashimoto *et al*, 2003). طی فرآیند اکستروژن، SDF به دلیل تغییر فرم دادن مقداری از IDF به SDF، افزایش می‌یابد (Vasanthan *et al*, 2002). بنابراین، حضور مواد محلول در تفاله منجر به افزایش WSI می‌گردد. نتایج Huang و همکاران (2016) نشان داد که همبستگی مثبتی بین WSI و SDF وجود دارد به‌طوری‌که افزایش SDF باعث افزایش WSI می‌شود.



شکل 8- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر WSI (الف) اثرمتقابل رطوبت- تفاله در دمای 145 درجه سانتی گراد (ب) اثر رطوبت و دما در سطح تفاله 17/5 درصد.

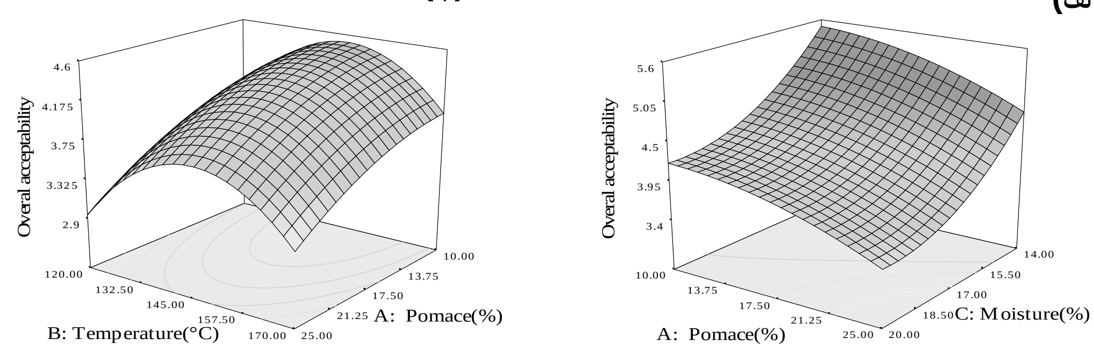
WSI مخلوط اکسترود شده آرد جو و تفاله هویج با افزایش دما تا 145 درجه سانتی‌گراد افزایش و سپس کاهش یافت (شکل8، ب). افزایش دمای محفظه، درجه ژلاتینه شدن نشاسته را افزایش می‌دهد. در حین ژلاتینه شدن، مقدار نشاسته محلول افزایش می‌یابد که در نتیجه باعث افزایش WSI می‌شود (Ding *et al*, 2005). مقداری نشاسته در طول اکستروژن دکسترینه می‌شود بنابراین در افزایش یافتن WSI می‌تواند تأثیرگذار باشد (Altan *et al*, 2008). کاهش WSI در دماهای بالاتر ممکن است به دلیل برهمکنش مولکولی بین

نشاسته تخریب شده، پروتئین، فیبر و لیپید باشد وکمپلکس تشکیل شده وزن مولکولی بیشتر دارد که باعث کاهش WSI در دماهای بالاتر می‌شود (Altan *et al*, 2008). نتایج مشابه در سیب زمینی هندی اکسترود شده (Sebio& Chang, 2000)، فراورده اکسترود شده جو و تفاله گوجه‌فرنگی (Altan *et al*, 2008) و جو و تفاله انگور (Altan *et al*, 2008) مشاهده شد. Gomez و همکاران (1983) بیان کردند که مکانیسم غالب تخریب نشاسته در رطوبت‌های پایین دکسترینه شدن می‌باشد. بنابراین، انتظار می‌رود محصولات اکسترود شده در رطوبت‌های پایین به دلیل دکسترینه شدن نشاسته، WSI بالاتری داشته باشد، که با نتایج شکل 8، ب مطابقت داشت.

آزمون حسی

با افزایش تفاله هویج به دلیل سفت‌تر شدن بافت و کاهش نسبت انبساط اسنک‌های اکسترود شده و همچنین به دلیل تیره‌تر شدن رنگ اسنک‌ها میزان پذیرش کلی کاهش یافت (شکل 9، الف). با افزایش دما تا 145 درجه سانتی‌گراد میزان پذیرش کلی افزایش و سپس کاهش یافت (شکل 9، الف). افزایش پذیرش کلی تا دمای 145 درجه سانتی‌گراد به دلیل افزایش انبساط محصولات اکسترود شده و کاهش سختی می‌باشد و با افزایش دما به دلیل ایجاد طعم سوختگی در اسنک میزان پذیرش کلی کاهش یافت. با افزایش رطوبت خوراک میزان پذیرش از طرف ارزیابان کاهش یافت (شکل 9، ب). رطوبت باعث کاهش اثر دمای بر سیال داخل اکسترود شده در نتیجه میزان پخت ماده اولیه کاهش می‌یابد و این باعث افزایش سختی و کاهش انبساط فراورده نهایی شد به همین دلیل میزان پذیرش کلی کاهش یافت.

(الف) (ب)



شکل9- نمودار سطح پاسخ برای اثر متغیرهای اکستروژن بر پذیرش کلی (الف) اثر تفاله و دما در رطوبت 17 درصد (ب) اثر تفاله و رطوبت در دمای 145 درجه سانتی گراد.

بهینه‌یابی

در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی رسیدن به محصولی با ویژگی‌های مطلوب می‌باشد. نتایج حاصل از بهینه‌یابی فرمولاسیون، شامل مقدارتفاله هویج 10 درصد، دما 148 درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت خوراک 15/49 درصد، بیشترین مقدار نسبت انبساط (296/1)، L* (65/087)، WAI (4/931) و پذیرش کلی (4/502)، کمترین مقدار دانسیته توده (1/22) و سختی (6/756) تعیین گردید.

ویژگی‌های شیمیایی اسنک اکسترود شده

اکستروژن تأثیری بر میزان پروتئین و خاکستر نداشت، اما مقدار چربی کاهش یافت (جدول 3)، در طی اکستروژن میزان SDF از 7/63 به 9/27 افزایش و میزان IDF از 5/24 به 3/71 کاهش یافت (جدول3). در جدول 3 صرف نظر از تفاوت در IDF و SDF بین نمونه‌های اکسترود شده و نشده، TDF (مجموع SDF وIDF) قبل و بعد از اکستروژن برابر بود.

جدول3- ترکیبات محصول بهینه در شرایط قبل و بعد از اکستروژن برمبنای ماده خشک (میانگین± انحراف معیار)

ترکیبات (٪)	اکسترود نشده	اکسترود شده
پروتئین	9/18±0/03	9/31±0/04
چربی	2/98±0/42	1/88±0/36
خاکستر	2±0/11	2/1±0/29
TDF	12/87±0/28	12/98±0/47
SDF	7/63±0/46	9/27±0/06
IDF	5/24±0/12	3/71±0/44

افزایش SDF تا حدودی به دلیل شکسته شدن پیوندهای کووالانسی و غیرکووالانسی بین کربوهیدرات و پروتئین‌های فیبر که

منجر به ایجاد مولکول‌های کوچک محلول می‌شود (Larrea *et al*, 2005). علاوه‌براین در طـی اکسـتروژن مقـداری فیبرهـای رژیمـی نامحلول به محلول توسط واکنش تـرانس گلیکوزیداسـیون (تشـکیل پیوند گلیگوزیدی) تبدیل می‌شود که ترکیبات انهیدرو از نشاسـته یـا نشاسته‌های جداشده از گلوکان طی فرآیند اکستروژن تولید مـی‌شـود که در برابـر هیـدرولیز آمـیلاز مقـاوم هسـتند (Vasanthan *et al*, 2002).

نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی اسنک‌ها، میزان انبساط می‌باشد که در این پژوهش بیش‌ترین میـزان انبسـاط در دمـای 145 درجـه سانتی‌گراد و پایین‌ترین مقدار تفاله هویج و رطوبت حاصل شد. دمای اکستروژن نقش مهمی در تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی سیال دارد و بر رشد حباب‌ها مؤثر است، افزایش رطوبت و همچنین تفاله بـا فشـرده کردن حباب‌ها مانع انبساط و در نتیجه افزایش دانسیته توده اسنک‌ها شد. بنابراین در پی افزایش دانسیته توده، سختی محصـول اکسـترود افزایش یافت. جذب آب شاخصی از ژلاتینه شدن نشاسته می‌باشد و از آن‌جایی که ژلاتینه شدن نیز تحت تأثیر دما و رطوبت است، بنابراین افزایش دمای اکستروژن تا 145 درجـه سـانتی‌گـراد باعـث افـزایش شاخص جذب آب شد. رطوبت مانع تخریب نشاسـته در طـی پخـت می‌شود بنابراین با افزایش رطوبت، میزان جذب آب افزایش یافت. از دیگر ویژگی‌های مهم اسنک شاخص روشنایی می‌باشد که در دمـا و سطح تفاله پایین وهمچنین رطوبت بالا بیشترین روشنایی حاصل شد. در بررسی خصوصیات حسی، اسنک‌های تولیـد شـده در دمـای 145 درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان رطوبت و تفاله بیش‌ترین پـذیرش کلی را نشان داد. با توجه به نتایج بهینه‌سازی اسنک حاوی پودر تفاله هویج با ویژگی‌های عملکردی مناسب شامل 10 درصد تفاله هـویج، دمای اکستروژن 148 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 15/49 درصد بود.

منابع

خزین، ز.، احمدزاده قویدل، ر.، وکریمی، م. 1393. بررسی بافت و خصوصیات حسی اسنک حاوی پوره توت فرنگی. اولین همایش ملـی میـان وعده های غذایی. مشهد مقدس، 10و 11 اردیبهشت.

AACC. (2000). Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th ed. St. Paul, Minnesota: *American Association of Cereal Chemists.*

Altan, A., Mccarthy, K. L., & Maskan, M. (2008a). Evaluation of snack foods from barley – tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84, 231–242.

Altan, A., Mccarthy, K. L., & Maskan, M. (2008b). Twin-screw extrusion of barley – grape pomace blends : Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89, 24–32.

Alu'datt, M., Rababah, T., Ereifej, K., Alli, I., Alrababah, M. A., Almajwal, A., & Alhamad, M. N. (2012). Effects of barley flour and barley protein isolate on chemical, functional, nutritional and biological properties of Pita bread. *Food Hydrocolloids*, 26, 135–143.

Anderson, R. A., Conway, H. F., Peplinski, A. J., Peoria, & Illinois. (1970). Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking , Extrusion Cooking and Steaming. Starch *Science*, 4, 2–7.

AOAC. (2000). Official methods of analysis 18th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Invited review Ready-to-eat snack products : the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*,48, 893–902.

Caltinoglu, C., Tonyalı, B., & Sensoy, I. (2013). Original article Effects of tomato pulp addition on the extrudate quality parameters and effects of extrusion on the functional parameters of the extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 587–594.

Chang, C., Yang, C., Samanros, A., & Lin, J. (2015). Collet and cooking extrusion change the soluble and insoluble b - glucan contents of barley. *Journal of Cereal Science*, 66, 18–23.

Chanvrier, H., Uthayakumaran, S., & Lillford, P. 2007. Rheological properties of wheat flour processed at low levels of hydration : Influence of starch and gluten. *Journal of Cereal Science*, 45: 263–274.

Chau, C. F., Chen, C. H., & Lee, M. H. (2004). Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions. *LWT- Food Science and Technology*, 37(2), 155-160.

Dehghan-shoar, Z., Hardacre, A. K., & Brennan, C. S. (2010). The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry*, *123*(4), 1117–1122.

Ding, Q., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73, 142–148.

Ding, Q., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66, 283–289.

Fletcher, S. I., Richmond, P., & Smith, A. C. (1985). An Experimental Study of Twin-Screw Extrusion- Cooking of

Maize Grits. *Journal of Food Engineering*, 4, 291–312.

Gomez, M. H., & Aguilera, J. M. (1984). A Physicochemical Model for Extrusion of Corn Starch. *Journal of Food Science*, 49.

Harper, J.M. (1981). Extrusion of Foods. *Journal of Food Science*, 68, 1669–1672.

Hashemi, N. Milani. E, Mortazavi, S.A. Tabatabai. F.(2017). Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and corn flour. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41 (5): 1-12.

Hashimoto, J. M., & Grossmann, M. V. E. (2003). Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran / cassava starch extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*,38, 511–517.

Huang, Y., & Ma, Y. (2016). The effect of extrusion processing on the physiochemical properties of extruded orange pomace. *Food Chemistry*, 192, 363–369.

Ilo, S., Liu, Y., & Berghofer, E. (1999). Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, 32, 79–88.

Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G.M.2016. Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 68: 391–399.

Kirby, A. R., Ollett, A. L., Parker, R., & Smith, A. C. (1989). An Experimental Study of Screw Configuration Effects in the Twin-Screw Extrusion-Cooking of Maize Grits. *Journal of Food Engineering*, *8*, 247–272.

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., & Uttapap, D. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *J Food Sci Technol*, 53, 561–570.

Larrea, M. A., Chang, Y. K., & Martinez-bustos, F. (2005). Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *LWT - Food Science and Technology*, *38*, 213–220.

Li, H., Long, D., Peng, J., Ming, J., & Zhao, G. (2012). A novel in - situ enhanced blasting extrusion technique — Extrudate analysis and optimization of processing conditions with okara. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 80–88.

Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H., & HUuff, H. E. (2000). Effect of Process Conditions on the Physical and Sensory Properties of Extruded Oat – Corn Puff. *Journal of Food Science*, 65, 7.

Lue, S., Hsieh, F., & Huff, H. E. (1994). Modeling of Twin-Screw Extrusion Cooking of Corn Meal and Sugar Beet Fiber Mixtures. *Ournal of Food Engineering*, 21, 263–289.

Mendonça, S., Grossmann, M. V. E., & Verhe, R. (2000). Corn Bran as a Fibre Source in Expanded Snacks. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, 33, 2–8.

Owusu-Ansah, J., Voort, F. R., & Stanley, D. W. (1983). Physicochemical Changes in cornstarch as a Function of Extrusion Variables.

Potter, R., Stojceska, V., & Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT - Food Science and Technology*, 51, 537-544.

Rathod, R. P., & Annapure, U. S. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 114–123.

Sebio, L., & Chang, Y. K. (2000). Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (Dioscorea rotundata) on physicochemical properties of the extrudates. *Nahrung*, *44*(2), 96–101.

Selani, Mabel, M., Guidolin, S., Brazaca, C., Tadeu, C., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., & Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163, 23–30.

Serena, B.K. (2007). Chemical and physic-chemical characterisation of co-products from vegetable food and agro industries. *Journal of Animal Feed Science Technology*, 139, 109-124.

Shafiq Alam, M.D., & Kumar, S. (2014). Optimization of Extrusion Process Parameters for Red Lentil-carrot Pomace Incorporated Ready-to-eat Expanded Product Using Response Surface. *Food Science and Technology*, 2(7):106-119.

Shafiq, M., Pathania, S., & Sharma, A. (2016). Optimization of the extrusion process for development of high fi bre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauli flower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 135–144.

Sriburi, P., & Hill, S. E. (2000). Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 141–154.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanog, E. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre , antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87, 554–563.

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2010). The advantages of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten free products. *Food Chemistry*, 121, 156-164.

Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., & Maroulis, Z. B. (2005). Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineering*, 68, 519–526.

Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J., & Li, J. (2002). Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77, 35–40.

Yağci, S., & Göğüş, F. (2009). Development of extruded snack from food by-products: a response surface analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 32, 565–586.

Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, 80, 594–599.

Yuliani, S., Torley, P. J., Arcy, B. D. Õ., Nicholson, T., & Bhandari, B. (2006). Extrusion of mixtures of starch and D - limonene encapsulated with b -cyclodextrin : Flavour retention and physical properties, 39, 318–331.

Wenwen, Y., Xinle, T., Wei, Z., Zhenxia, H., Glen, P. F., Michael, J.G., & Robert, G.G. (2017). Relationships between protein content, starch molecular structureand grain size in barley. *Carbohydrate Polymers*. 155, 271–279.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 5, Dec- Jan 2019, p. 891-906

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 5، آذر - دی 1397، ص.906-891

Effect of feed mixture and extrusion temperature on physicochemical and sensory properties of barley flour- carrot pomace snack

S. lotfi Shirazi[1], A. Koocheki[2], E. Milani[3], M. Mohebbi[2]

Received: 2017.11.11
Accepted: 2018.06.12

Introduction: Snack foods have become an important part of the people's diets. During last decade demands for utilization of fruit and vegetable waste in order to their dietary fibers in value added food products has been increased. Carrot pomace is rich in dietary fiber that contains important functional and nutritional properties. Barley contains a high amount of dietary fiber, especially soluble fiber, which has essential role in reducing blood cholesterol level.

Materials and methods: In this project based on Central Composite Design, the effect of independent variables containing extrusion temperature (120-170 °C), moisture content (14-20%) and carrot pomace level (10-25%) were evaluated on expansion ratio, bulk density, WAI, WSI, hardness, color snacks were evaluated by panelists in terms of acceptance or non-acceptance.

Results and discussion: Results expressed that expansion ratio, lightness, total acceptability and WAI decreased by increasing the amount of carrot pomace. Reduction of expansion ratio and WSI and improvement of lightness and WAI were shown as increased in moisture levels. The hardness and bulk density decreased with an increase in temperature. When temperature increased up to 145°C, expansion ratio, lightness, WAI and WSI increased and decreased thereafter. The optimum conditions for barley flour-carrot pomace snack were determined at the maximum expansion ratio, L*, WAI and overall acceptability with minimum bulk density and hardness in a snack. The optimum condition provides the highest value of expansion ratio 296.1 (%), L* 65.087, WAI 4.931 (g/g) and overall acceptability 4.502 with lowest bulk density 1.22 (g/cm^3) and hardness 6.756 (N). Accordingly, the optimum conditions for the snack are 10% carrot pomace, 148°C die temperature and 15.49% moisture. The approximate composition of the snack extruded and unextruded obtained under the optimal conditions. Extrusion did not affect the protein and ash contents but it decreased the fat content of snack. During the extrusion, the SDF increased from 7.63 to 9.27 g/100g while the IDF decreased from 5.24 to 3.71 g/100g. Extrusion cooking did not affect the TBG content in barley flour-carrot pomace snack. Extrusion cooking resulted in the conversion of insoluble to soluble fiber and well balance of both types of the fiber

Keywords: Extrusion Cooking, Optimization, Dietary Fiber, Barley Flour, Carrot Pomace.

1. MSc student, Department of Food Science and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad.
3. Assistant Professor, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.
(* Corresponding author E-mail: koocheki@um.ac.ir)